

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-282178
(43)Date of publication of application : 10.10.2000

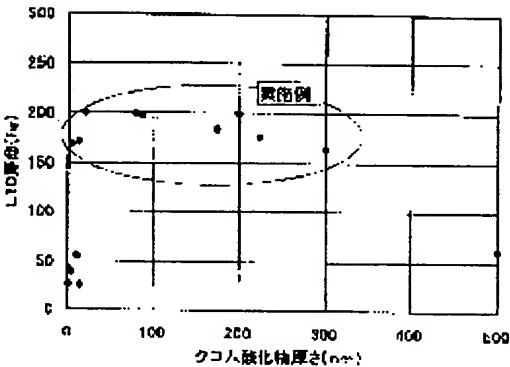
(51)Int.Cl. C22C 38/00
C22C 38/18
F16C 33/32
F16C 33/62

(21)Application number : 11-169735 (71)Applicant : NSK LTD
(22)Date of filing : 16.06.1999 (72)Inventor : TAKEMURA HIROMICHI
SEKINO KAZUO
OKITA SHIGERU
MURAKAMI YASUO

(30)Priority
Priority number : 10301182 Priority date : 22.10.1998 Priority country : JP
11018913 27.01.1999 JP

(54) ROLLING BEARING

(57)Abstract:
PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a rolling bearing having a long peeling life even in the case of being used under a lubrication of which traction coefficient is high, and in which foreign matters are mixed.
SOLUTION: As the steel material for an inner ring, a rolling element and an outer ring composing a rolling bearing, the one in which the content of carbon (C) is, by weight, 0.65 to 1.10%, and the content of chromium (Cr) is 2.0 to 6.0% is used. After the formation with this steel material, quenching, tempering and grinding finish are executed to form chromium oxide films (Cr₂O₃) of 5 to 300 nm thickness on the track surfaces of the inner ring and the outer ring. In the case of being used under a lubrication of which traction coefficient is high, and in which water is mixed, the fine particles of molybdenum carbide and/or vanadium carbide of 50 to 300 nm particle size are distributed into a matrix.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.05.2006
[Date of sending the examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-282178

(P2000-282178A)

(43) 公開日 平成12年10月10日 (2000. 10. 10)

(51) Int.Cl.⁷

C 2 2 C 38/00

38/18

F 1 6 C 33/32

33/62

識別記号

3 0 1

3 0 2

F I

C 2 2 C 38/00

38/18

F 1 6 C 33/32

33/62

テ-マ-ト* (参考)

3 0 1 Z 3 J 1 0 1

3 0 2 Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平11-169735

(22) 出願日 平成11年6月16日 (1999. 6. 16)

(31) 優先権主張番号 特願平10-301182

(32) 優先日 平成10年10月22日 (1998. 10. 22)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平11-18913

(32) 優先日 平成11年1月27日 (1999. 1. 27)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72) 発明者 武村 浩道

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72) 発明者 関野 和雄

神奈川県藤沢市桐原町12番地 日本精工株

式会社内

(74) 代理人 100066980

弁理士 森 哲也 (外2名)

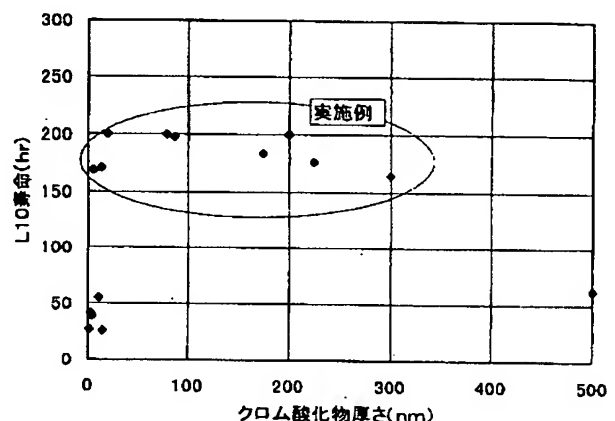
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 転がり軸受

(57) 【要約】

【課題】 トラクション係数が高く異物が混入している潤滑下で使用される場合でも、剥離寿命の長い転がり軸受を提供する。

【解決手段】 転がり軸受を構成する内輪および外輪用の鉄鋼材料として、炭素 (C) の含有率が0. 65重量%以上1. 10重量%以下であり、クロム (Cr) の含有率が2. 0重量%以上6. 0重量%以下であるものを使用する。この鉄鋼材料で形成した後に、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げを施して、内輪および外輪の軌道面に5 nm以上300 nm以下の厚さのクロム酸化物膜 (Cr₂O₃) を形成する。トラクション係数が高く水が混入している潤滑下で使用する場合には、粒径が50 nm以上300 nm以下であるモリブデン炭化物および/またはバナジウム炭化物の微細粒子をマトリックス中に分布させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素（C）の含有率が0.55重量%以上1.10重量%以下であり、クロム（Cr）の含有率が2.0重量%以上9.0重量%以下である鉄鋼材料で形成された後に、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、
軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化膜（Cr₂O₃）を有するものであることを特徴とする転がり軸受。

【請求項2】 軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面の残留オーステナイト量は15体積%以上25体積%以下であることを特徴とする請求項1記載の転がり軸受。

【請求項3】 転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素（C）の含有率が0.55重量%以上1.10重量%以下であり、クロム（Cr）の含有率が2.0重量%以上9.0重量%以下であり、モリブデン（Mo）を1.1重量%以上4.0重量%以下の含有率でおよび／またはバナジウム（V）を0.3重量%以上2.0重量%以下の含有率で含む鉄鋼材料で形成された後に焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、
粒径が50nm以上300nm以下であるモリブデン炭化物および／またはバナジウム炭化物の微細粒子がマトリックス中に分布しているとともに、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化膜（Cr₂O₃）を有するものであることを特徴とする転がり軸受。

【請求項4】 転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素（C）の含有率が0.10重量%以上0.55重量%以下であり、クロム（Cr）の含有率が5.0重量%以上14.0重量%以下である鉄鋼材料で形成された後に、浸炭または浸炭窒化、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、
浸炭または浸炭窒化後の表面炭素濃度が0.7重量%以上1.2重量%以下であり、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面の残留オーステナイト量は25体積%以上50体積%以下であり、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化膜（Cr₂O₃）を有することを特徴とする転がり軸受。

【請求項5】 転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素（C）の含有率が0.10重量%以上0.55重量%以下であり、クロム（Cr）の含有率が5.0重量%

以上14.0重量%以下であり、モリブデン（Mo）を0.5重量%以上4.0重量%以下の含有率でおよび／またはバナジウム（V）を0.3重量%以上2.0重量%以下の含有率で含む鉄鋼材料で形成された後に、浸炭または浸炭窒化、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、

粒径が50nm以上500nm以下であるモリブデン炭化物および／またはバナジウム炭化物の微細粒子がマトリックス中に分布しており、浸炭または浸炭窒化後の表面炭素濃度が0.7重量%以上1.2重量%以下であり、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面の残留オーステナイト量は25体積%以上50体積%以下であり、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化膜（Cr₂O₃）を有することを特徴とする転がり軸受。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、自動車の自動変速機用転がり軸受として好適な、トラクション係数が高く異物が混入している潤滑下で使用される場合でも剥離寿命が長い転がり軸受、および水の混入が考えられて潤滑油膜の形成が困難となりやすい自動車のエンジン補機用としても剥離寿命が長い転がり軸受、さらにはトラクション係数が高く異物および水が混入している潤滑下で使用される場合でも剥離寿命が長い転がり軸受に関する。また、高温高荷重で高接線力が作用するトロイダル無断変速機の部品及び軸受に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来の転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体としては、高炭素クロム鋼（特にSUJ2鋼）を用いて所定形状に形成された後、焼入れ、焼き戻しが施されて表面の硬さがHRC62程度に、残留オーステナイト量が10体積%程度になっているものが一般的である。

【0003】 一方、自動車の自動変速機は、トルクコンバーター、歯車機構、油圧機構、湿式クラッチ等を内蔵する装置であり、これらの機構を円滑に作動させて動力を伝達するために、自動変速機用の転がり軸受にはトラクション係数の高い潤滑油（自動変速機油：ATF）が使用される。したがって、上記従来の転がり軸受を使用した場合には、自動変速機の作動中に、軌道輪の軌道面と転動体の転動面との間に生じる接線力が増大するため、潤滑膜が破壊されやすくなり、軌道面や転動面に早期剥離が生じる恐れがある。

【0004】 また、自動変速機に取り付けられている転がり軸受では、軸受内部の潤滑油に金属の切粉、削り屑、バリ、および摩耗粉等が混入することが避けられない。上記従来の転がり軸受をこのような異物混入潤滑下で使用すると、異物が軌道輪の軌道面や転動体の転動面に圧痕を生じさせ、この圧痕を起点としてフレーキング

(うろこ状の剥離)が発生するため、転がり軸受の寿命が著しく低下するという問題がある。

【0005】軌道面の早期剥離を防止するための従来技術としては、例えば特開平4-28845号公報に、合金成分としてCを0.65~0.90重量%、Siを0.15~0.50重量%、Mnを0.15~1.0重量%、Crを2.0~5.0重量%を含有する鉄鋼材料を用いて転がり軸受の軌道輪を形成することが開示されている。この技術は、高速回転で振動や衝撃荷重が加わる環境下で使用される転がり軸受に関するものである。そして、このような使用環境下で軌道面に早期剥離が生じる原因は、最大剪断応力が発生する位置にCが拡散、固着して、硬くて脆い白層が生じることにあり、C濃度が低く、Cr濃度が高い前記組成の鉄鋼材料を用いることにより前記白層が生じ難くなって、軌道面の早期剥離が防止されると記載されている。

【0006】異物混入潤滑下での寿命を長くするための従来技術としては、例えば特公平6-11899号公報に、合金成分としてCを0.4~0.8重量%、Siを0.3~1.2重量%、Mnを1.0重量%以下、Crを4.0~8.0重量%、Moを0.1~1.0重量%含有する鉄鋼材料を軸受鋼として用い、浸炭または浸炭窒化処理を行うことで表面に面積比で20~35%の炭化物または炭窒化物を形成することが開示されている。この技術では、使用する鉄鋼材料の組成の特定により基地の靱性と焼き戻し軟化抵抗を高めるとともに、表面に微細なM₂₃C₆やM₇C₃型の炭化物または炭窒化物を分散析出させて表層を強化することにより、異物混入潤滑下での寿命を長くできると記載されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述の自動変速機用の転がり軸受のように、トラクション係数が高く異物が混入している潤滑下で使用される転がり軸受の場合には、前記従来技術の適用では剥離寿命の延長効果が期待できない。なお、特公平6-11899号公報に記載された異物混入潤滑下での寿命を長くする方法では、設備コストの高い浸炭または浸炭窒化処理を行う必要があるため、製造コストが高くなるという問題点がある。

【0008】また、トラクション係数が高い潤滑条件であってしかも高温環境下で使用される転がり軸受の場合には、使用中に急激な温度差があると、軸受周りの空間で結露が生じて、水滴が潤滑油内に混入することがある。また、水洗浄等で自動変速機に残留した水が潤滑油内に混入することもある。このようなトラクション係数が高く水が混入している潤滑下で使用される転がり軸受の場合には、軌道面や転動面に潤滑油膜が形成され難く、形成されても前述のように接線力の増大によって破壊され易くなるため、前記従来技術の適用では剥離寿命の延長効果が期待できない。

【0009】一方、特公平7-110988号公報には、トランスミッションやエンジン用として求められる寿命の長い転がり軸受として、軌道輪と転動体との少なくとも一つが、C:0.3~0.6重量%、Cr:3~14重量%を少なくとも含む合金鋼からなり、且つ浸炭または浸炭窒化そして硬化熱処理が施されてなる表面層部を有し、表面層部に存在する微細炭化物量が20~50vol%であり、表面層部内の残留オーステナイト量が10~25vol%であることを特徴とする転がり軸受が開示されている。この転がり軸受は、タービン油に異物が混入している潤滑下等で使用される場合には従来の軸受よりも寿命が長くなるが、トラクション係数が高く異物および水が混入している潤滑下で使用される場合の寿命に関しては改善の余地がある。

【0010】本発明は、このような従来技術の問題点に着目してなされたものであり、トラクション係数が高く異物が混入している潤滑下、およびトラクション係数が高く水が混入している潤滑下で使用される場合でも、剥離寿命の長い転がり軸受を提供することを課題とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素(C)の含有率が0.55重量%以上1.10重量%以下であり、クロム(Cr)の含有率が2.0重量%以上9.0重量%以下である鉄鋼材料で形成された後に、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、軌道輪の軌道面および/または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化膜(Cr₂O₃)を有するものであることを特徴とする転がり軸受を提供する。

【0012】トラクション係数が高い潤滑条件下で軌道面や転動面に早期剥離が生じる原因は、前述のように接線力の増大に伴って潤滑膜が破壊される際に、潤滑油に含まれる水分が分解して水素が発生し、この水素が軌道面や転動面に侵入することにある。本発明の転がり軸受によれば、軌道面や転動面に設けたクロム酸化膜(Cr₂O₃)によりこの水素の侵入が防止されるため、トラクション係数が高い潤滑条件下で軌道面や転動面に早期剥離が生じることが防止される。

【0013】クロム酸化膜(Cr₂O₃)の厚さが5nm未満では、水素の侵入防止作用が実質的に得られない。クロム酸化膜(Cr₂O₃)の厚さが300nmを超えると、クロム酸化膜の組織が粗くなって水素の侵入防止作用が低減する。クロム酸化膜の厚さの好適な範囲は20nm以上200nm以下である。この厚さの範囲では、特に緻密な組織のクロム酸化膜が得られるため、上述のような軌道面や転動面に対する水素の侵入をより効果的に防止できる。

【0014】なお、特開平4-28845号公報に記載

の技術では、軌道面に数nmの不動態膜(FeCrO_x)が形成されるが、このような不動態膜では、上述のような軌道面や転動面に対する水素の侵入を十分に防止することはできない。本発明の転がり軸受は、転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかが前記構成を満たしていれば、従来の転がり軸受と比べてトラクション係数が高い潤滑下での剥離寿命を長くできるが、特に回転輪となる軌道輪(内輪または外輪)が前記構成を満たしていることが好ましい。

【0015】本発明の転がり軸受において、軌道輪の軌道面および/または転動体の転動面の残留オーステナイト量が15体積%以上25体積%以下であると、トラクション係数が高いだけでなく異物が混入している潤滑下であっても、剥離寿命を著しく長くすることができるため好ましい。本発明の転がり軸受において、内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素(C)の含有率が0.55重量%以上1.10重量%以下であり、クロム(Cr)の含有率が2.0重量%以上9.0重量%以下であり、モリブデン(Mo)を1.1重量%以上4.0重量%以下の含有率でおよび/またはバナジウム(V)を0.3重量%以上2.0重量%以下の含有率で含む鉄鋼材料で形成された後に、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、粒径が50nm以上300nm以下であるモリブデン炭化物および/またはバナジウム炭化物の微細粒子がマトリックス中に分布しているとともに、軌道輪の軌道面および/または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化膜(Cr_2O_3)を有するものであることが好ましい。

【0016】この転がり軸受によれば、潤滑油膜が形成され難い環境下で使用されることにより、軌道面および/または転動面に設けたクロム酸化膜(Cr_2O_3)が破壊された場合でも、マトリックス中に分布している微細な炭化物粒子が侵入しようとする水素を吸着する。これにより、トラクション係数が高く水が混入している潤滑下であっても、上述のような軌道面や転動面に対する水素の侵入を防止できるため、軌道面や転動面に早期剥離が生じることが防止される。

【0017】この微細な炭化物粒子の分布は、素材の段階で1100~1250℃に保持する溶体化処理を行って、モリブデンおよび/またはバナジウムの微細な炭化物を析出させることにより得られる。なお、この微細な炭化物の析出によって、鉄鋼材料のマトリックスに溶け込んでいる炭素量が減少する。そのため、このような微細な炭化物粒子がマトリックス中に分布している鉄鋼材料で形成された軸受構成部材は、マトリックスの疲労時に、炭素拡散による組織変化の発生が遅延される。その結果、この転がり軸受の耐摩耗性は高くなり、潤滑油膜が形成され難い環境下で使用された場合に焼付きを防止

することができる。

【0018】このモリブデン炭化物および/またはバナジウム炭化物の微細粒子は、軌道面および/または転動面に $10\mu\text{m}^2$ あたり10個以上の割合で存在するように、マトリックス中に分布していることが好ましい。なお、本発明の転がり軸受は、以下に示す①~③の転がり軸受を好ましい形態として含むものである。

①転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素(C)の含有率が0.

65重量%以上1.10重量%以下であり、クロム(Cr)の含有率が2.0重量%以上6.0重量%以下である鉄鋼材料で形成された後に、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、軌道輪(内輪および/または外輪)の軌道面および/または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化膜(Cr_2O_3)を有するものであることを特徴とする転がり軸受。

【0019】この転がり軸受は、トラクション係数が高い潤滑下での剥離寿命を長くできる転がり軸受として特に好ましいものである。

②転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素(C)の含有率が0.65重量%以上0.95重量%以下であり、珪素(Si)の含有率が0.05重量%以上0.60重量%以下であり、マンガン(Mn)の含有率が0.2重量%以上1.5重量%以下であり、クロム(Cr)の含有率が3.0重量%以上6.0重量%以下である鉄鋼材料で形成された後に、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、軌道輪の軌道面および/または転動体の転動面の残留オーステナイト量は15体積%以上25体積%以下であり、前記軌道面および/または転動面に20nm以上200nm以下の厚さのクロム酸化膜(Cr_2O_3)を有するものであることを特徴とする転がり軸受。

【0020】この転がり軸受によれば、組織が緻密なクロム酸化膜の存在によりトラクション係数が高い潤滑下での剥離寿命を特に長くできるだけでなく、残留オーステナイト量が15体積%以上25体積%以下であることにより、異物が混入している潤滑下での剥離寿命を著しく長くすることができる。すなわち、この転がり軸受は、トラクション係数が高く異物が混入している潤滑下で使用する転がり軸受として特に好ましいものである。

③転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素(C)の含有率が0.55重量%以上0.90重量%以下であり、クロム(Cr)の含有率が4.0重量%以上9.0重量%以下(好ましくは5.0重量%以上9.0重量%以下)であり、1.1重量%以上4.0重量%以下(好ましくは1.1重量%以上3.0重量%以下)のモリブデン(Mo)および/または0.3重量%以上2.0重量%以下のバナ

ジウム(V)を含む鉄鋼材料で形成された後に、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、粒径が50nm以上300nm以下であるモリブデン炭化物および／またはバナジウム炭化物の微細粒子がマトリックス中に分布しているとともに、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化膜(Cr_2O_3)を有するものであることを特徴とする転がり軸受。

【0021】この転がり軸受は、トラクション係数が高く水が混入している潤滑下での剥離寿命を長くできる転がり軸受として特に好ましいものである。次に、使用する鉄鋼材料に含有させる各合金成分の作用および含有率について説明する。

【C: 0.55~1.10重量%】炭素(C)は硬さを付与する元素である。その含有率が0.55重量%未満であると、転がり軸受として要求されるHRC58以上の硬さを得ることが困難になる。また、炭素の含有率が1.10重量%を超えると、巨大炭化物が生成し易くなって疲労寿命や衝撃荷重が低下する場合がある。以上のことから、炭素の含有率は0.55重量%以上1.10重量%以下とする。

【0022】なお、上記①の転がり軸受では、炭素の含有率を0.65重量%以上1.10重量%以下としている。上記②の転がり軸受では、炭素の含有率を0.65重量%以上0.95重量%以下としている。炭素の含有率が0.65重量%以上であると、HRC58以上の硬さを安定的に得ることができる。また、炭素の含有率が0.95重量%以下であると、巨大炭化物の生成がより安定的に抑えられる。

【0023】また、上記③の転がり軸受では、炭素の含有率を0.55重量%以上0.90重量%以下としている。③の転がり軸受では、合金成分としてCrとMoおよび／またはVとが添加された鉄鋼材料を使用しているため、炭素量が多くなるとオーステナイト域が狭くなって、熱処理時に中心部に炭素が濃化して偏析する恐れがある。そして、この偏析部分がオーバーヒートして、内部に割れが発生し易くなる。したがって、③の転がり軸受の場合には、炭素の含有率の上限を0.90重量%とすることが好ましい。

【Cr: 2.0~9.0重量%】クロム(Cr)は焼入れ性を向上させ、且つ炭化物の球状化を促進させるとともに、クロム酸化膜(Cr_2O_3)を生成させる元素である。クロム酸化膜の厚さを5nm以上とするためには、クロムの含有率を2.0重量%以上にする必要がある。また、クロムの含有率が9.0を超えると、被切削性が著しく劣化するため、生産性が低下する。以上のことから、クロムの含有率は2.0重量%以上9.0重量%以下とする。

【0024】なお、上記①の転がり軸受では、クロムの含有率を2.0重量%以上6.0重量%以下としてい

る。上記②の転がり軸受では、クロムの含有率を3.0重量%以上6.0重量%以下としている。クロムの含有率を6.0重量%以下とすることにより、被切削性が特に良好となる。クロムの含有率を3.0重量%以上とすることにより、得られるクロム酸化膜がより緻密で強固なものとなって、水素を遮断する効果が高くなる。

【0025】また、上記③の転がり軸受では、クロムの含有率を4.0重量%以上9.0重量%以下、好ましくは5.0重量%以上9.0重量%以下としている。クロムの含有率を4.0重量%以上(好ましくは5.0重量%以上)とすることにより、得られるクロム酸化膜がより緻密で強固なものとなって、破壊され難くなり、水素を遮断する効果がより高くなる。

【Mo: 1.1~4.0重量%】モリブデン(Mo)は、鋼に焼き戻し軟化抵抗を付与するとともに、炭素と結合してモリブデン炭化物を形成する元素である。粒径が50nm以上300nm以下である微細なモリブデン炭化物粒子を、マトリックス中に安定的に析出・分布させるためには、モリブデンの含有率を1.1重量%以上とする必要がある。この微細なモリブデン炭化物粒子の存在により、表面硬度が高くなって耐摩耗性が良好となるとともに、上述の水素を侵入させない作用が得られる。

【0026】一方、モリブデンを4.0重量%を超えて含有させると、このような効果が飽和するばかりでなく、加工性が劣化する恐れがある。以上のことから、モリブデンの含有率は1.1重量%以上4.0重量%以下、好ましくは1.1重量%以上3.0重量%以下とする。

【V: 0.3~2.0重量%】バナジウム(V)は結晶粒界に析出して結晶粒の粗大化を抑制するとともに、炭素と結合して微細なバナジウム炭化物を形成する元素である。粒径が50nm以上300nm以下である微細なバナジウム炭化物粒子を、マトリックス中に安定的に析出・分布させるためには、バナジウムの含有率を0.3重量%以上とする必要がある。この微細なバナジウム炭化物粒子の存在により、表面硬度が高くなって耐摩耗性が良好になるとともに、上述の水素を侵入させない作用が得られる。

【0027】一方、バナジウムの含有率が2.0重量%を超えると、バナジウム炭化物が結晶粒界に析出して、加工性や種々の機械的性質が劣化する恐れがある。以上のことから、バナジウムの含有率は0.3重量%以上2.0重量%以下とする。なお、モリブデンを含有させずにバナジウムのみを含有させる場合には、バナジウムの含有率を0.5重量%以上2.0重量%以下とすることが好ましい。

【Si: 0.05~0.60重量%】珪素(Si)は組織変化の遅延および焼入れ性を向上させる元素であるが、その含有率が0.05重量%未満では上記効果が十

分には得られず、0.60重量%を超えると加工性が著しく低下する。以上のことから、珪素の含有率は0.05重量%以上0.60重量%以下とすることが好ましい。

【Mn：0.2～1.5重量%】マンガン（Mn）は焼入れ性を向上させる元素であるが、その含有率が0.2重量%未満では焼入れ性が不十分であり、1.5重量%を超えると加工性が低下する。以上のことから、マンガンの含有率は0.2重量%以上1.5重量%以下とすることが好ましい。

【P，S，Oについて】リン（P）は転がり寿命や靱性を低下させる元素であるため、その含有率を0.02重量%以下とすることが好ましい。硫黄（S）は被切削性を向上させる元素であるが、マンガンを結合して転がり寿命を低下させる硫化物系介在物を形成するため、その含有率を0.02重量%以下とすることが好ましい。酸素（O）は鋼中に酸化物系介在物を生成し、転がり寿命を低下させる元素であるため、その含有率を0.0010重量%以下とすることが好ましい。

【0028】本発明はまた、転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素（C）の含有率が0.10重量%以上0.55重量%以下であり、クロム（Cr）の含有率が5.0重量%以上14.0重量%以下である鉄鋼材料で形成された後に、浸炭または浸炭窒化、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、浸炭または浸炭窒化後の表面炭素濃度が0.7重量%以上1.2重量%以下であり、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面の残留オーステナイト量は25体積%以上50体積%以下であり、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化物膜（ Cr_2O_3 ）を有することを特徴とする転がり軸受を提供する。

【0029】前述のように、転がり軸受を異物が混入している潤滑下で使用すると、異物により軌道輪の軌道面や転動体の転動面に圧痕が生じる。この圧痕のエッジ部に応力が集中することによってマイクロクラックが生じ、早期剥離の原因となる。この転がり軸受によれば、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面の残留オーステナイト量を25体積%以上50体積%以下とすることにより、以下の作用が生じて、前記圧痕のエッジ部に対する応力集中が低減される。その結果、異物が混入している潤滑下での使用の際に、軌道輪の軌道面および転動体の転動面の早期剥離が防止される。

【0030】すなわち、オーステナイト組織は軟らかい（例えばHv300程度の硬さである）が、表面に残留したオーステナイトは、加工等のエネルギー付与に誘起されてマルテンサイトに変態して硬化する。そして、残留オーステナイト量が25体積%以上50体積%以下である軌道面または転動面には、相手面（転動面または軌道

面）との転がり接触時に、表面に加わる変形エネルギーによって前記変態が生じる。その過程において、前記圧痕のエッジ部に対する応力集中が緩和される。

【0031】この転がり軸受はまた、軌道輪の軌道面および／または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化物膜（ Cr_2O_3 ）を有しているため、前述のように、トラクション係数が高い潤滑条件下で軌道面や転動面に早期剥離が生じる原因となっている水素の侵入が防止される。その結果、トラクション係数が高い潤滑条件下で軌道面や転動面に早期剥離が生じることが防止される。

【0032】また、この転がり軸受における、使用する鉄鋼材料の炭素（C）の含有率とクロム（Cr）の含有率、表面炭素濃度の限定理由は以下の通りである。

【表面炭素濃度：0.7～1.2重量%】転がり軸受として要求されるHRC58以上の表面硬さを得るためには、表面炭素濃度を0.7重量%以上とする必要がある。表面炭素濃度が1.2重量%を超えると、巨大炭化物が生成し易くなる。巨大炭化物が生成している部分は割れ起点になり易い。

【0033】なお、浸炭窒化処理を行う場合には、表面窒素濃度を0.05重量%以上0.50重量%以下とすることが好ましい。表面窒素濃度が0.05重量%以上であると焼き戻し抵抗性が高くなって、微細な炭窒化物が分散析出し易くなる。その結果、表面の脆性割れ強度が高くなる。また、表面窒素濃度が0.50重量%を超えると、耐摩耗性は向上するが、研磨加工が困難になり、脆性割れ強度が低下する。

【0034】また、浸炭または浸炭窒化処理時には、材料内部に拡散性水素の侵入が生じるが、浸炭または浸炭窒化処理後に真空炉内での加熱を行うことにより、材料中の拡散性水素を0.1ppm以下にして脆性を高くすることができる。

【C：0.10～0.55重量%】炭素（C）は硬さを付与する元素である。この転がり軸受では、浸炭または浸炭窒化処理により、表面炭素濃度を0.7重量%以上1.2重量%以下にしているが、使用する鉄鋼材料中のC含有率が0.10重量%未満であると、表面炭素濃度を前記範囲とするための浸炭または浸炭窒化処理に時間がかかる。また、鉄鋼材料中のC含有率が0.55重量%を超えると、芯部での靱性が低下して耐衝撃性が悪くなる場合がある。

【Cr：5.0～14.0重量%】クロム（Cr）は焼入れ性を向上させ、且つ炭化物の球状化を促進させるとともに、クロム酸化物膜（ Cr_2O_3 ）を生成させる元素である。この転がり軸受では、クロム酸化物膜の厚さを5nm以上とするためにクロムの含有率を5.0重量%以上にする必要がある。また、クロムの含有率が14.0を超えると、被切削性が著しく劣化するとともに、10μm以上の巨大クロム炭化物が生成し易くなる。巨大ク

ロム炭化物が生成すると、生成されるクロム酸化膜が不均一になるため、クロム酸化膜が破壊され易くなる。

【0035】以上のことから、この転がり軸受によれば、トラクション係数が高く、異物が混入している潤滑下での剥離寿命が長くなる。また、この転がり軸受では、使用する鉄鋼材料中に、Siを以下の範囲で含有していることが好ましく、Mnを前述の範囲で含有していることが好ましい。さらに、Oの含有率は、前述のように0.0010重量%以下とすることが好ましく、SおよびPの含有率は、前述のように0.02重量%以下とすることが好ましい。

【Si:0.10~1.40重量%】前述のように、珪素(Si)は、組織変化の遅延および焼入れ性を向上させる元素であるが、この転がり軸受では、使用する鉄鋼材料中の炭素(C)の含有率が0.10~0.55重量%であるため、Siの含有率が0.10重量%未満では上記効果が十分には得られない。また、炭素(C)の含有率が低いと冷間加工性が改善されることから、Si含有率が0.60重量%を超えても良好な加工性が得られるが、1.40重量%を超えると加工性が低下する。したがって、珪素の含有率は0.10重量%以上1.40重量%以下とすることが好ましい。

【0036】本発明はまた、転がり軸受を構成する内輪、外輪、および転動体のうちの少なくともいずれかは、炭素(C)の含有率が0.10重量%以上0.55重量%以下であり、クロム(Cr)の含有率が5.0重量%以上14.0重量%以下であり、モリブデン(Mo)を0.5重量%以上4.0重量%以下の含有率および/またはバナジウム(V)を0.3重量%以上2.0重量%以下の含有率で含む鉄鋼材料で形成された後に、浸炭または浸炭窒化、焼入れ、焼き戻し、研磨仕上げが施されることにより得られ、粒径が50nm以上500nm以下であるモリブデン炭化物および/またはバナジウム炭化物の微細粒子がマトリックス中に分布しており、浸炭または浸炭窒化後の表面炭素濃度が0.7重量%以上1.2重量%以下であり、軌道輪の軌道面および/または転動体の転動面の残留オーステナイト量は25体積%以上50体積%以下であり、軌道輪の軌道面および/または転動体の転動面に5nm以上300nm以下の厚さのクロム酸化膜(Cr₂O₃)を有することを特徴とする転がり軸受を提供する。

【0037】この転がり軸受によれば、潤滑油膜が形成され難い環境下で使用されることにより、軌道面および/または転動面に設けたクロム酸化膜(Cr₂O₃)が破壊された場合でも、マトリックス中に分布しているモリブデン炭化物および/またはバナジウムの微細な炭化物粒子が、侵入しようとする水素を吸着する。これにより、トラクション係数が高く水が混入している潤滑下であっても、上述のような軌道面や転動面に対する水素の侵入を防止できるため、軌道面や転動面に早期剥離が生

じることが防止される。

【0038】この微細な炭化物粒子の分布は前述の方法で得られ、前述のように、マトリックス中にこの分布を有する鉄鋼材料で形成された軸受構成部材は、マトリックスの疲労時に、炭素拡散による組織変化の発生が遅延される。その結果、この転がり軸受の耐摩耗性は高くなり、潤滑油膜が形成され難い環境下で使用された場合に焼付きを防止することができる。また、前述のように、このモリブデン炭化物および/またはバナジウム炭化物の微細粒子は、軌道面および/または転動面に10μm²あたり10個以上の割合で存在するように、マトリックス中に分布していることが好ましい。

【0039】ただし、この転がり軸受では、モリブデン炭化物および/またはバナジウム炭化物の微細粒子の粒径の範囲を50nm以上500nm以下とする。マトリックス中のモリブデン炭化物および/またはバナジウム炭化物粒子は、浸炭または浸炭窒化処理時に成長する。この転がり軸受では、前記炭化物の微細粒子の粒径が300nmを超えても500nm以下であれば、上述の水素吸着作用および耐摩耗性を向上する効果が得られる。

【0040】また、この転がり軸受によれば、軌道輪の軌道面および/または転動体の転動面の残留オーステナイト量を25体積%以上50体積%以下とすることにより、前述の作用が生じて、前記圧痕のエッジ部に対する応力集中が低減される。その結果、異物が混入している潤滑下での使用の際に、軌道輪の軌道面および転動体の転動面の早期剥離が防止される。また、このように残留オーステナイト量を高くすることに伴って生じる硬さの低下を、マトリックス中に分布している前記モリブデン炭化物および/またはバナジウム炭化物の微細粒子によって補うことができる。

【0041】また、この転がり軸受における、使用する鉄鋼材料のモリブデン(Mo)の含有率の限定理由は以下の通りであり、バナジウム(V)の含有率の限定理由は前述と同様である。

【Mo:0.5~4.0重量%】前述のように、モリブデン(Mo)は、鋼に焼き戻し軟化抵抗を付与するとともに、炭素と結合してモリブデン炭化物を形成する元素である。使用する鉄鋼材料中の炭素(C)の含有率が0.25~0.55重量%の場合には、粒径が50nm以上500nm以下である微細なモリブデン炭化物粒子をマトリックス中に安定的に析出・分布させるために、Moの含有率を1.1重量%以上とすることが好ましい。

【0042】ただし、使用する鉄鋼材料中の炭素(C)の含有率が0.10~0.20重量%の場合には、微細なモリブデン炭化物粒子の析出によりマトリックス中のC濃度が低くなる傾向にある。これを抑制するため、Moの含有率を1.1重量%よりも少なく(例えば0.5重量%程度に)することが好ましい。一方、モリブデン

を4.0重量%を超えて含有させると、このような効果が飽和するばかりでなく、加工性が劣化する恐れがある。これらの点を考慮して、この転がり軸受(C:0.10~0.55重量%)では、使用する鉄鋼材料中のモリブデン(Mo)の含有率を0.5重量%以上4.0重量%以下とする。

【0043】以上のことから、この転がり軸受によれば、トラクション係数が高く、異物および水が混入している潤滑下での剥離寿命が長くなる。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について説明する。

【第1実施形態】先ず、炭素(C)、珪素(Si)、マンガン(Mn)、およびクロム(Cr)を下記の表1に示す各含有率(重量%)で含有し、リン(P)および硫黄(S)の含有率は0.02重量%以下であり、酸素*

		C	Si	Mn	Cr	Cr ₂ O ₃ 膜(nm)	HRC	γR(%)
実施例	1	0.65	0.60	0.31	6.0	300	63	10
	2	0.84	0.23	0.61	5.1	225	60	13
	3	0.79	0.38	1.5	3.5	175	58	0
	4	1.10	0.05	0.45	2.0	5	63	9
	5	0.92	0.25	0.2	4.3	87	59	4
	6	1.05	0.47	0.45	2.6	13	63	10
	7	0.69	0.33	0.32	3.5	20	62	25
	8	0.81	0.41	0.49	4.9	79	61	15
	9	0.95	0.33	0.29	5.7	200	60	20
比較例	1	0.93	0.34	0.41	1.5	1	62	8
	2	1.24	0.25	0.43	2.9	10	65	11
	3	0.59	0.31	0.22	3.8	15	56	5
	4	0.88	0.02	0.89	4.0	4	60	9
	5	0.76	0.58	0.05	2.0	2	62	12
	6	0.95	0.31	0.42	3.4	500	60	10

【0047】転動体としては、高炭素クロム軸受鋼2種(SUJ2)により直径3/8インチの玉を形成し、焼入れ、焼き戻しを施すことにより、表面の硬度(HRC)を62に、残留オーステナイト量(γR)を10体積%に、軌道面の粗さを0.003~0.010μmRaにしたものを用いた。このようにして得られた内輪および外輪(実施例1~9および比較例1~6)と、上述の転動体とからなる転がり軸受を、図1に示す試験機に取り付けてトラクション係数が高い潤滑下での剥離寿命を調べる試験を行った。

【0048】この試験機は、転がり軸受1が取り付けられたハウジング2の全体と、軸3の基端部31以外の部分とが囲い部材4で覆われており、この囲い部材4内の上部に、転がり軸受1の内部に潤滑油を供給する給油ノズル5が設置されている。給油ノズル5には、配管61を通して油タンク6から潤滑油が供給されるようになっている。囲い部材4内に落ちた潤滑油は廃油管62から

* (O)の含有率は0.0010重量%以下であり、残部が鉄(Fe)である組成の鉄鋼材料を用い、深溝玉軸受(JIS品番6206:外径62mm、内径30mm、幅16mm)の内輪および外輪を形成した。

【0045】次に、形成された内輪および外輪に対して、焼入れ、焼き戻しを施すことにより、表面の硬度(HRC)および残留オーステナイト量(γR)を下記の表1に示す値にした。次に、アルミナ系砥石またはCBN砥石を用い、高速回転で軌道面を研磨加工することにより、軌道面の粗さを0.01~0.04μmRaとした。この研磨加工後に軌道面に形成されているクロム酸化膜(Cr₂O₃)を測定した。その値を下記の表1に併せて示す。

【0046】

【表1】

油タンク6に戻されるようになっている。配管61の上流側には、潤滑油中の異物を取り除くフィルター63が取り付けられるようになっている。また、囲い部材4の上部には、ハウジング2を介して転がり軸受1に負荷を与える負荷レバー7が設けてある。

【0049】潤滑油としては、2円筒試験機を用いて、周速度4.1m/s、すべり率5%の条件で測定した最大トラクション係数(μ)が、40℃で0.09、100℃で0.07であり、動粘度が40℃で30.8cSt、100℃で5.31cStである市販のトラクション油を用いた。試験条件は、試験荷重Fr580kgf(JIS規格でのP/C=0.3)、試験温度100℃、回転速度3900rpm、内輪回転とした。

【0050】先ず、油タンク6の潤滑油1リットルに、硬さがHv530であって大きさが44~74μmであるスチールビーズを0.01g入れて、フィルター63を通さずに、囲い部材4内の転がり軸受1に油タンク6

内の潤滑油を供給しながら3分間回転させた。すなわち、トラクション係数が高く異物が混入された潤滑下で転がり軸受1を回転させることにより、軌道面および／または転動面に初期圧痕を設けた。

【0051】次に、この試験機から転がり軸受1を取り外して洗浄し、外輪および転動体は圧痕の付いていない新しいものに交換し、内輪はそのまま初期圧痕の付いたものを使用して試験機に取付けた。この状態で、フィルター63を配管61に取り付けて、囲い部材4内の転がり軸受1に異物が混入されていない潤滑油を供給しながら回転させた。回転試験中に軸受に生じる振動を測定し、回転中の振動値が初期振動値の5倍となった時点で試験を中断して、フレーキングが生じているかどうかを*

*調べた。各実施例および比較例とも10個の試験用軸受についてこの試験を行った。

【0052】試験を中断した場合にはその時点までの回転時間を評価時間（剥離寿命）とした。計算寿命が160時間であるため200時間まで試験を行い、200時間回転しても振動値が初期振動値の5倍とならなかったものについては、200時間回転後にフレーキングが生じているかどうかを調べて、評価時間を200時間とした。これらの結果を下記の表2に示す。また、これらの結果から得られた、クロム酸化物の厚さと評価時間（L10寿命）との関係を図2にグラフで示す。

【0053】

【表2】

		評価時間 L10(hr)	はくりの有無	はくり形態
実施例	1	165	3/10内輪はくり	内部起点
	2	176	2/10内輪はくり	内部起点
	3	184	5/10外輪はくり	表面(圧痕)起点
	4	169	3/10内輪はくり	内部起点
	5	198	4/10外輪はくり	表面(圧痕)起点
	6	171	3/10内輪はくり	内部起点
	7	200	はくり無	—
	8	200	はくり無	—
	9	200	はくり無	—
比較例	1	27	10/10内輪はくり	内部起点
	2	55	10/10内外輪はくり	内部起点
	3	26	10/10内外輪はくり	内部起点
	4	39	10/10内輪はくり	内部起点
	5	41	10/10内輪はくり	内部起点
	6	63	10/10内輪はくり	内部起点

【0054】この表から分かるように、実施例1～6は、使用した鉄鋼材料が本発明の範囲にあり、厚さ5nm以上300nm以下のクロム酸化物膜を有することから、クロム酸化物膜による水素侵入防止作用が得られたため、比較例1～6よりも著しく評価時間が長くなった。しかしながら、残留オーステナイト量が15体積%未満であるため、10個の試験体のうち2～5個に剥離が生じていた。

【0055】これらのうち実施例3、5は、クロム酸化物膜の厚さが好ましい範囲（20nm以上200nm以下）であることから、緻密なクロム酸化物膜による高い水素侵入防止作用が得られたため、クロム酸化物膜の厚さが好ましい範囲から外れる実施例1、2、4、6よりも評価寿命が長くなった。また、実施例1、2、4、6については、剥離が生じた内輪断面のミクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。実施例3、5については、外輪軌道面に初期圧痕を起点とする剥離が生じていた。

【0056】実施例7～9は、使用した鉄鋼材料が本発明の範囲にあり、厚さ20nm以上200nm以下のクロム酸化物膜を有し、残留オーステナイト量が15体積%以上25体積%以下であるため、評価時間が200時間であって、10個の試験体の全てに剥離は生じていなかった。すなわち、クロム酸化物膜による水素侵入防止作用が十分に得られ、高い残留オーステナイト量により初期圧痕の広がりが防止されたことにより、剥離寿命が著しく長くなった。

【0057】比較例1は、使用した鉄鋼材料が本発明の範囲から外れるS U J 2鋼であり、クロム酸化物膜も1nmと薄く、残留オーステナイト量も8体積%と少なかったため、評価時間が計算寿命の1/6と短くなり、10個の試験体の全てに剥離が生じていた。剥離が生じた内輪断面のミクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。

【0058】比較例2は、クロム酸化物膜は10nmであったが、使用した鉄鋼材料の炭素含有率が大きいため表

面に巨大な炭化物が生じており、クロム酸化膜が部分的に破壊されていた。剥離が生じた内輪断面のミクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。比較例3は、クロム酸化膜は15nmであったが、使用した鉄鋼材料の炭素含有率が小さいため軌道面の硬さが不十分であり、軌道面の塑性変形によって剥離寿命が短くなった。

【0059】比較例4は、使用した鉄鋼材料のSi含有率が低いため、研磨加工時の研削抵抗が小さくなって研磨面の熱発生が抑えられた。そのため、クロム酸化膜の厚さが4nmと薄くなり、クロム酸化膜による水素侵入防止作用が実質的に得られなかった。比較例5は、使用した鉄鋼材料のMn含有率が低いため、研磨加工時の研削抵抗が小さくなって研磨面の熱発生が抑えられた。そのため、クロム酸化膜の厚さが2nmと薄くなり、クロム酸化膜による水素侵入防止作用が実質的に得られなかった。

【0060】比較例6は、使用した鉄鋼材料は本発明の範囲にあるが、クロム酸化膜の厚さが500nmと厚すぎたため、クロム酸化膜の組織が粗くなって、クロム酸化膜による水素侵入防止作用が実質的に得られなかった。以上のことから、内輪および外輪について、使用した鉄鋼材料が本発明の範囲にあり、軌道面に厚さ5nm以上300nm以下のクロム酸化膜を有するものであれば、クロム酸化膜による水素侵入防止作用が得られて、トラクション係数が高い潤滑下での剥離寿命を長くできることが分かる。また、トラクション係数が高く異物が混入している潤滑下では、残留オーステナイト量を15体積%以上25体積%以下とすることによって、初期圧痕の広がりを抑えて剥離寿命を著しく長くできることが分かる。

* [第2実施形態] 先ず、炭素(C)、珪素(Si)、マンガン(Mn)、クロム(Cr)、およびモリブデン(Mo)、バナジウム(V)を下記の表3に示す各含有率(重量%)で含有し、リン(P)および硫黄(S)の含有率は0.02重量%以下であって、酸素(O)の含有率は0.0010重量%以下であり、残部が鉄(Fe)である組成の鉄鋼材料を用い、深溝玉軸受(JIS品番6206:外径62mm、内径30mm、幅16mm)の内輪および外輪を形成した。

10 【0061】なお、比較例15以外については、素材の段階で、無酸化雰囲気で1100~1250℃に保持する溶体化処理を行うことにより、マトリックス中にMo, V炭化物の微細粒子を析出・分布させた後に、切削することにより内輪および外輪を形成した。次に、この内輪および外輪に対して、焼入れ、焼き戻しを施すことにより、表面の硬度(HRC)および残留オーステナイト量(γR)を下記の表3に示す値にした。比較例15については、溶体化処理を行わず、焼入れ、焼き戻しのみを施した。

20 【0062】次に、アルミナ系砥石またはCBN砥石を用い、高速回転で軌道面を研磨加工することにより、軌道面の粗さを0.01~0.04 μmRa とした。この研磨加工後に、軌道面に形成されているクロム酸化膜(Cr_2O_3)を測定した。その値を下記の表3に併せて示す。また、マトリックス中に分布しているモリブデン炭化物および/またはバナジウム炭化物の微細粒子を透過型電子顕微鏡で観察し、その炭化物粒を画像解析処理することによって、平均粒径と個数を確認した。この平均粒径の値も下記の表3に併せて示す。

30 【0063】

* 【表3】

		化学成分(%)						クロム系酸化膜(nm)	Mo,V系炭化物(nm)	HRC	γR (%)
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V				
実施例	11	0.82	0.10	0.31	4.0	4.0	1.2	5	300	61	0
	12	0.90	0.60	0.25	5.1	-	2.0	134	235	58	0
	13	0.62	0.25	0.48	7.2	2.2	-	98	68	60	0
	14	0.78	0.23	0.35	8.0	-	0.5	106	106	61	8
	15	0.65	0.43	0.61	5.0	1.1	-	24	250	58	12
	16	0.55	0.55	1.50	9.0	1.3	0.5	300	50	58	8
	17	0.72	0.21	0.35	7.5	1.4	1.5	200	143	62	15
	18	0.61	0.35	0.40	6.9	-	0.3	8	59	59	11
	19	0.77	0.33	0.29	5.8	3.0	-	67	185	63	9
比較例	11	0.93	0.32	0.41	1.5	0.2	-	1	810	61	10
	12	0.49	0.21	0.35	5.1	1.5	1.0	51	155	55	8
	13	1.25	0.33	0.18	4.9	-	0.5	25	79	65	15
	14	0.80	0.42	0.70	8.0	0.5	-	105	500	62	8
	15	0.65	0.34	0.15	2.0	-	-	2	-	58	9
	16	0.88	0.32	0.43	1.4	-	0.7	1	275	59	11

【0064】転動体としては、高炭素クロム軸受鋼2種(SUJ2)により直径3/8インチの玉を形成し、焼

50 入れ、焼き戻しを施すことにより、表面の硬度(HRC)を63に、残留オーステナイト量(γR)を10体積%

に、軌道面の粗さを0.003~0.010 μ mRaにしたものを用いた。このようにして得られた内輪および外輪（実施例11~19および比較例11~16）と、上述の転動体とからなる転がり軸受を、第1実施形態で説明した図1の試験機に取り付けて、トラクション係数が高く水が混入された潤滑下での剥離寿命を調べる試験を行った。

【0065】潤滑油としては、2円筒試験機を用いて、周速度4.1m/s、すべり率5%の条件で測定した最大トラクション係数(μ)が、40℃で0.09、100℃で0.07であり、動粘度が40℃で30.8cSt、100℃で5.31cStである市販のトラクション油を用いた。この潤滑油に水道水を5体積%混合したものを、油タンク6内に入れた。潤滑油の循環は、最初からフィルター63を配管61に取り付けて行った。これにより、囲い部材4内の転がり軸受1に、異物の混入はないが水を含む潤滑油が供給されるようにした。

【0066】試験条件は、試験荷重Fr580kgf、*

		評価時間 L10(hr)	はくりの有無	はくり形態
実施例	11	155	3/10内輪はくり	内部起点
	12	200	はくり無し	—
	13	200	はくり無し	—
	14	200	はくり無し	—
	15	200	はくり無し	—
	16	143	3/10内輪はくり	内部起点
	17	200	はくり無	—
	18	125	2/10焼付き	表面起点(焼付き)
	19	200	はくり無	—
比較例	11	25	10/10内輪はくり	内部起点
	12	20	10/10内輪はくり	内部起点
	13	49	10/10内輪はくり	内部起点
	14	50	10/10内輪はくり	内部起点
	15	31	10/10内輪はくり	内部起点
	16	53	10/10内輪はくり	内部起点

【0069】この表から分かるように、実施例11~19は、使用した鉄鋼材料が本発明の範囲にあり、厚さ5nm以上300nm以下のクロム酸化膜を有するとともに、粒径50nm以上300nm以下のMn炭化物および/またはV炭化物の微細粒子がマトリックス中に分布していることから、比較例11~16と比較して著しく剥離寿命が長くなった。

【0070】特に、実施例12~15、17、19は、クロム酸化膜の厚さが20nm以上200nm以下（好ましい範囲）であり、Mn炭化物および/またはV炭化物の粒径が50nm以上250nm以下（好ましい範囲）であるため、試験時間が200時間を経過しても、10個の試験体の全てに剥離が生じていなかった。すなわち、クロム酸化膜とMn炭化物および/またはV炭化物の微細粒子による水素侵入防止作用の両方が十分に得

* (JIS規格でのP/C=0.3)、試験温度100℃、回転速度3900rpm、内輪回転とした。油タンク6内の潤滑油を供給しながら転がり軸受1を回転させて、回転試験中に軸受に生じる振動を測定し、回転中の振動値が初期振動値の5倍となった時点で試験を中断して、フレーキングが生じているかどうかを調べた。各実施例および比較例とも10個の試験用軸受についてこの試験を行った。

【0067】試験を中断した場合にはその時点までの回転時間を評価時間（剥離寿命）とした。計算寿命が160時間であるため200時間まで試験を行い、200時間回転しても振動値が初期振動値の5倍とならなかったものについては、200時間回転後にフレーキングが生じているかどうかを調べて、評価時間を200時間とした。これらの結果を下記の表4に示す。

【0068】

【表4】

られたことにより、剥離寿命が著しく長くなったと考えられる。

【0071】これに対して、実施例11、16、18の評価時間（L10寿命）は、比較例11~16よりは長寿命であったが、計算寿命よりは短くなった。実施例11では、剥離は内輪に集中して発生し、10個中3個に内部起点型の剥離が生じていた。剥離が生じた内輪断面のミクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。この結果は、クロム酸化膜の厚さが比較的薄く（好ましい範囲から外れる）、炭化物の粒径も比較的大きい（好ましい範囲から外れる）ことから、実施例12~15、17、19と比較して水素侵入防止作用が小さくなったためと考えられる。

【0072】実施例16では、剥離は内輪に集中して発生し、10個中3個に内部起点型の剥離が生じていた。

剥離が生じた内輪断面のミクロ組織を調査したところ、白色組織変化が負荷圏全域に確認された。この結果は、クロム酸化膜の厚さが比較的厚く（好ましい範囲から外れる）、緻密でなかったことから、実施例 12～15、17、19と比較して水素侵入防止作用が小さくなったためと考えられる。

【0073】実施例 18では、10個中2個に焼付きが生じた。この結果は、使用した鉄鋼材料のパナジウムの含有率が0.3重量%と低く、モリブデンは含有されていないことから、パナジウム炭化物およびモリブデン炭化物の合計析出量が少なく、潤滑油膜が破壊されやすい水混入潤滑下で十分な耐摩耗性が得られなかったためと考えられる。

【0074】比較例 11は、使用した鉄鋼材料が本発明の範囲から外れるSUJ2鋼であって、クロム酸化膜も1nmと薄く、パナジウム炭化物およびモリブデン炭化物の粒径が大きい。そのため、評価時間が計算寿命の1/6と短くなり、10個の試験体の全てに剥離が生じていた。剥離が生じた内輪断面のミクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。

【0075】比較例 12では、クロム酸化膜は51nmであったが、使用した鉄鋼材料の炭素含有率が小さいため軌道面の硬さが不十分（HRC55）となり、剪断応力の作用により軌道面に塑性変形が生じて、剥離寿命が短くなった。比較例 13では、クロム酸化膜は25nmであったが、使用した鉄鋼材料の炭素含有率が大きいため表面に巨大な炭化物が生じており、クロム酸化膜が部分的に破損されていた。その結果、剥離寿命が短くなった。剥離が生じた内輪断面のミクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。

【0076】比較例 14では、クロム酸化膜は105nmであったが、使用した鉄鋼材料のモリブデン含有率が本発明の範囲から外れているとともに、炭化物の粒径も500nmと大きかった。そのため、水混入により潤滑油膜形成が困難となる環境下では、モリブデン炭化物による水素吸着作用が小さくなり、剥離寿命が短くなった。

【0077】比較例 15では、モリブデンおよびパナジウムのいずれをも含有しない鉄鋼材料を用いたため、これらの炭化物の析出が生じていない。また、クロム酸化膜の厚さも薄かった。そのため、クロム酸化膜による水素侵入防止作用が不十分であり、モリブデン炭化物またはパナジウム炭化物による水素吸着作用も得られなかった。その結果、剥離寿命が短くなった。

【0078】比較例 16では、パナジウム炭化物の析出による水素吸着作用は得られたが、クロム酸化膜の厚さが薄い場合クロム酸化膜による水素侵入防止作用が不十分であった。その結果、剥離寿命が短くなった。以上の

ことから、内輪および外輪について、使用した鉄鋼材料が本発明の範囲にあり、粒径が50nm以上300nm以下であるモリブデン炭化物および／またはパナジウム炭化物の微細粒子がマトリックス中に分布しているとともに、軌道面に厚さ5nm以上300nm以下のクロム酸化膜を有するものであれば、クロム酸化膜による水素侵入防止作用と炭化物の微細粒子による水素吸着作用が十分に得られて、トラクション係数が高く水が混入している潤滑下での剥離寿命を長くできることが分かる。

【第3実施形態】先ず、炭素（C）、珪素（Si）、マンガン（Mn）、クロム（Cr）、およびモリブデン（Mo）、パナジウム（V）を下記の表5に示す各含有率（重量%）で含有し、リン（P）および硫黄（S）の含有率は0.02重量%以下であって、酸素（O）の含有率は0.0010重量%以下であり、残部が鉄（Fe）である組成の鉄鋼材料を用い、深溝玉軸受（JIS品番6206：外径62mm、内径30mm、幅16mm）の内輪および外輪を形成した。なお、比較例 21以外については、素材の段階で、無酸化雰囲気中で1100～1250℃に保持する溶体化処理を行うことにより、マトリックス中にMo、V炭化物の微細粒子を析出・分布させた後に、切削することにより内輪および外輪を形成した。

【0079】次に、比較例 21以外については、温度880～960℃、吸熱型ガス+エンリッチガス+アンモニアガスの雰囲気中で5～10時間熱処理する浸炭窒化処理を行った後、放冷した。次に、吸熱型ガスの雰囲気中で温度840～1050℃に0.5～1時間加熱した後、油焼入れを行った。次に、大気中で温度160～200℃に2時間保持した後に冷却する焼き戻しを行った。比較例 21では、溶体化処理および浸炭窒化処理を行わず、840℃での焼入れおよび180℃での焼き戻しのみを行った。

【0080】これらの熱処理によって、表面の硬度（HRC）、表面炭素濃度（表面C）、および残留オーステナイト量（ γ_R ）は表5に示す値となった。次に、アルミナ系砥石またはCBN砥石を用い、高速回転で軌道面を研磨加工することにより、軌道面の粗さを0.01～0.04 μmRa とした。この研磨加工後に、軌道面に形成されているクロム酸化膜（ Cr_2O_3 ）を測定した。その値を下記の表5に併せて示す。

【0081】また、マトリックス中に分布しているモリブデン炭化物および／またはパナジウム炭化物の微細粒子を透過型電子顕微鏡で観察し、その炭化物粒を画像解析処理することによって、平均粒径と個数を確認した。この平均粒径の値も下記の表5に併せて示す。

【0082】

【表5】

		化学成分 (%)						クロム系 酸化膜 (nm)	Mo,V系 炭化物 (nm)	表面C (%)	HR c	γ R (%)
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V					
実施例	21	0.25	0.10	0.31	5.0	4.0	-	5	125	1.20	58	45
	22	0.30	0.60	0.25	10.0	-	2.0	134	435	1.10	66	30
	23	0.55	0.25	0.48	8.2	2.2	1.5	300	355	1.15	67	35
	24	0.15	0.23	0.35	14.0	0.5	-	255	60	0.80	62	25
	25	0.45	0.43	0.61	10.5	1.1	-	24	143	1.15	61	40
	26	0.20	0.55	1.50	7.0	0.8	0.5	90	50	0.90	62	35
	27	0.10	1.40	0.35	12.5	0.5	-	200	70	0.70	62	25
	28	0.35	0.35	0.40	5.9	3.0	0.3	8	500	1.15	59	50
	29	0.25	0.33	0.29	13.8	-	0.5	155	85	0.90	63	30
比較例	21	0.93	0.32	0.41	1.5	0.2	-	1	810	-	62	8
	22	0.05	0.35	0.30	11.0	1.0	-	51	155	0.60	55	25
	23	0.70	0.45	0.50	12.0	0.5	0.5	25	79	1.55	67	35
	24	0.35	0.32	0.45	3.5	1.0	1.0	2	500	1.10	67	30
	25	0.45	0.40	0.35	18.0	1.5	-	100	225	1.05	63	35
	26	0.40	0.35	0.50	13.0	-	-	100	-	1.15	62	10

【0083】転動体としては、高炭素クロム軸受鋼2種（SUJ2）により直径3/8インチの玉を形成し、焼入れ、焼き戻しを施すことにより、表面の硬度（HRC）を62に、残留オーステナイト量（ γ R）を10体積%に、軌道面の粗さを0.003~0.010 μ mRaにしたものを用いた。このようにして得られた内輪および外輪（実施例21~29および比較例21~26）と、上述の転動体とからなる転がり軸受を、第1実施形態で説明した図1の試験機に取り付けて、トラクション係数が高く異物および水が混入された潤滑下での剥離寿命を調べる試験を行った。

【0084】潤滑油としては、2円筒試験機を用いて、周速度4.1m/s、すべり率5%の条件で測定した最大トラクション係数（ μ ）が、40℃で0.09、100℃で0.07であり、動粘度が40℃で30.8cSt、100℃で5.31cStである市販のトラクション油を用いた。試験条件は、試験荷重Fr580kgf（JIS規格でのP/C=0.3）、試験温度80℃、回転速度3900rpm、内輪回転とした。

【0085】先ず、油タンク6の潤滑油1リットルに、硬さがHv500であって大きさが74~147 μ mであるステンレス粉を0.005g入れて攪拌し、フィルター63を通さずに、囲い部材4内の転がり軸受1に油タンク6内の潤滑油を供給しながら3分間回転させた。すなわち、トラクション係数が高く異物が混入された潤

滑下で転がり軸受1を回転させることにより、軌道面および/または転動面に初期圧痕を設けた。

【0086】次に、この試験機から転がり軸受1を取り外して洗浄し、内輪および転動体は圧痕の付いていない新しいものに交換し、外輪はそのまま初期圧痕の付いたものを使用して試験機に取付けた。この状態で、フィルター63を配管61に取り付けて、油タンク6内の潤滑油に水道水を1時間に5ccの速度で滴下しながら、転がり軸受1を回転させた。これにより、囲い部材4内の転がり軸受1に、異物の混入はないが水を含む潤滑油が供給される。

【0087】回転試験中に軸受に生じる振動を測定し、回転中の振動値が初期振動値の5倍となった時点で試験を中断して、フレーキングが生じているかどうかを調べた。各実施例および比較例とも10個の試験用軸受についてこの試験を行った。試験を中断した場合にはその時点までの回転時間を評価時間（剥離寿命）とした。計算寿命が160時間であるため200時間まで試験を行い、200時間回転しても振動値が初期振動値の5倍とならなかったものについては、200時間回転後にフレーキングが生じているかどうかを調べて、評価時間を200時間とした。これらの結果を下記の表6に示す。

【0088】

【表6】

25		評価時間 L10(hr)	はくりの有無	はくり形態
実 施 例	21	165	3/10内輪はくり	内部起点
	22	200	はくり無し	—
	23	178	2/10内輪はくり	内部起点
	24	200	はくり無し	—
	25	200	はくり無し	—
	26	175	2/10内輪はくり	内部起点
	27	200	はくり無	—
	28	160	3/10内輪はくり	内部起点
	29	200	はくり無	—
比 較 例	21	13	10/10内輪はくり	内部起点, 表面起点混在
	22	23	10/10内輪はくり	内部起点
	23	30	10/10内輪はくり	内部起点
	24	21	10/10内輪はくり	内部起点
	25	51	10/10内輪はくり	内部起点
	26	78	10/10内輪はくり	表面起点

【0089】この表から分かるように、実施例21～29は、使用した鉄鋼材料が本発明の範囲にあり、厚さ5nm以上300nm以下のクロム酸化膜を有するとともに、粒径50nm以上500nm以下のMn炭化物および/またはV炭化物の微細粒子がマトリックス中に分布していることから、比較例21～26と比較して著しく剥離寿命が長くなった。

【0090】特に、実施例22、24、25、27、29は、試験時間が200時間を経過しても、10個の試験体の全てに剥離が生じていなかった。これは、クロム酸化膜の厚さが8nm～255nmであるため緻密で破壊され難いことに加えて、Mn炭化物および/またはV炭化物の粒径が60nm～435nmであることに起因する。すなわち、クロム酸化膜が破壊されたとしても、Mn炭化物および/またはV炭化物の微細粒子による水素侵入防止作用が十分に得られるため、トラクション係数が高く水が混入している潤滑下での剥離寿命が著しく長くなった。

【0091】これに対して、実施例21、23、26、28の評価時間(L10寿命)は、計算寿命以上ではあったが200時間未満であった。実施例21では、異物混入潤滑下での回転時に外輪の軌道面に生じた圧痕を起点とした剥離は発生していなかった。剥離は内輪に集中して発生しており、10個中3個に内部起点型の剥離が生じていた。剥離が生じた内輪断面のマイクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。この結果は、クロム酸化膜の厚さが5nmと比較的薄いことから、実施例22、24、25、27、29と比較して水素侵入防止作用が小さくなったためと考えられる。

【0092】実施例23では、剥離は内輪に集中して発生し、10個中2個に内部起点型の剥離が生じていた。剥離が生じた内輪断面のマイクロ組織を調査したところ、

白色組織変化が負荷圏全域に確認された。この結果は、クロム酸化膜の厚さが300nmと比較的厚く、緻密でなかったことから、クロム酸化膜が部分的に破壊されて、実施例22、24、25、27、29と比較して水素侵入防止作用が小さくなったためと考えられる。

【0093】実施例26では、剥離は内輪に集中して発生し、10個中2個に内部起点型の剥離が生じていた。剥離が生じた内輪断面のマイクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。この結果は、クロム酸化膜が90nmと比較的薄く、バナジウム炭化物およびモリブデン炭化物の粒径も50nmと比較的小さかったことから、実施例22、24、25、27、29と比較して、水素侵入防止作用が小さくなったためと考えられる。

【0094】実施例28では、剥離は内輪に集中して発生し、10個中3個に内部起点型の剥離が生じていた。剥離が生じた内輪断面のマイクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。この結果は、クロム酸化膜が8nmと比較的薄く、バナジウム炭化物およびモリブデン炭化物の粒径が500nmと比較的大きかったことから、実施例22、24、25、27、29と比較して、水素侵入防止作用が小さくなったためと考えられる。

【0095】比較例21は、使用した鉄鋼材料が本発明の範囲から外れるSUS2鋼であって、クロム酸化膜も1nmと薄く、バナジウム炭化物およびモリブデン炭化物の粒径が大きい。そのため、評価時間が計算寿命の1/12と短くなり、10個の試験体の全てに剥離が生じていた。剥離が生じた内輪断面のマイクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。この内部起点型剥離とともに、圧痕起点による表面起点剥離も生じていた。

【0096】比較例22では、クロム酸化膜は51nm

であったが、使用した鉄鋼材料の炭素含有率が小さく、表面C濃度も0.60%と低いため、軌道面の硬さが不十分(HRC55)となり、剪断応力の作用により軌道面に塑性変形が生じた。その結果、10個の試験体の全ての内輪に内部起点型の剥離が生じて、剥離寿命が短くなった。

【0097】比較例23では、クロム酸化膜は25nmであったが、使用した鉄鋼材料の炭素含有率が大きく表面C濃度も1.55と高いため、表面に10μmを超える巨大な炭化物が生じており、クロム酸化膜が部分的に破壊されていた。その結果、10個の試験体の全ての内輪に内部起点型の剥離が生じて、剥離寿命が短くなった。剥離が生じた内輪断面のミクロ組織を調査したところ、微小亀裂とともに白色組織変化が確認された。

【0098】比較例24では、クロム酸化膜が2nmと薄く膜が緻密でなかったため、クロム酸化膜による水素侵入防止作用が小さかった。これに加えて、バナジウム炭化物およびモリブデン炭化物の粒径が500nmと比較的大きかったことから、クロム酸化膜の破壊が生じた後のバナジウム炭化物およびモリブデン炭化物による水素吸着作用も小さくなった。その結果、10個の試験体の全ての内輪に内部起点型の剥離が生じて、剥離寿命が短くなった。

【0099】比較例25では、使用した鉄鋼材料のクロム含有率が18.0%と高かったため、10μmを超える巨大クロム炭化物が生じた。その結果、クロム酸化膜は、厚さは100nmと十分であったが、均一性が悪いいため直ぐに破壊が生じた。比較例26では、モリブデンおよびバナジウムの炭化物微粒子がマトリックス中に分布されていない。また、クロム酸化膜の厚さは100nmで十分であったが、残留オーステナイト量が10%と小さい。これらのことに起因して、10個の試験体の全ての内輪に圧痕起点による表面起点剥離が生じて、剥離寿命が短くなった。

【0100】以上のことから、内輪および外輪について、使用した鉄鋼材料が本発明の請求項5の範囲にあり、粒径が50nm以上500nm以下であるモリブデン炭化物および／またはバナジウム炭化物の微細粒子がマトリックス中に分布しており、軌道面に厚さ5nm以上300nm以下のクロム酸化膜を有し、残留オーステナイト量が25体積%以上50体積%以下で、表面炭素濃度が0.7重量%以上1.2重量%以下であれば、クロム酸化膜による水素侵入防止作用とクロム酸化膜の破壊後の炭化物微細粒子による水素吸着作用が十分に得られて、トラクション係数が高く異物および水が混入している潤滑下での剥離寿命を長くできることが分かる。特に、使用した鉄鋼材料中のCrの含有率が10重量%以上14重量%以下であると、トラクション係数が高く異物および水が混入している潤滑下での剥離寿命の大幅な向上が期待できる。

【0101】なお、この第3実施形態で行った浸炭窒化処理に代えて浸炭処理を行った場合でも、上記と同様の効果が得られることを確認した。この浸炭処理は、温度880～960℃、吸熱型ガス+エンリッチガスの雰囲気10～15時間熱処理することにより行い、その後の焼入れ、焼き戻し条件は上記浸炭窒化処理後の焼入れ、焼き戻しと同じにした。

【0102】また、使用する鉄鋼材料中のクロム含有率が高い場合には、クロム炭化物が表面に形成されるため、浸炭または浸炭窒化処理時に、表面に対する炭素の侵入・拡散が抑制されて十分な浸炭が行われ難くなる傾向がある。このような場合には、真空浸炭、プラズマ浸炭、アセチレン浸炭等を行うことによって、より良好な浸炭特性を得ることができる。

【0103】また、上記各実施形態では深溝玉軸受を用いて試験を行っているが、滑りが大きく潤滑条件が劣化しやすい円筒ころ軸受、円錐ころ軸受、アングュラ軸受の場合でも同様の効果が期待できる。

【0104】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の転がり軸受によれば、トラクション係数が高い潤滑下で使用される場合でも、剥離寿命を長くすることができる。特に、請求項2の転がり軸受によれば、トラクション係数が高く異物が混入している潤滑下で使用される場合でも、剥離寿命を長くすることができる。

【0105】特に、請求項3の転がり軸受によれば、トラクション係数が高く水が混入している潤滑下で使用される場合でも、剥離寿命を長くすることができる。特に、請求項4の転がり軸受によれば、トラクション係数が高く異物が混入している潤滑下で使用される場合でも、剥離寿命を長くすることができる。特に、請求項5の転がり軸受によれば、トラクション係数が高く、異物および水が混入している潤滑下で使用される場合でも、剥離寿命を長くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態で剥離寿命試験に使用した試験機を示す概略構成図である。

【図2】実施形態での試験結果から得られた、クロム酸化物の厚さと評価時間(L10寿命)との関係を示すグラフである。

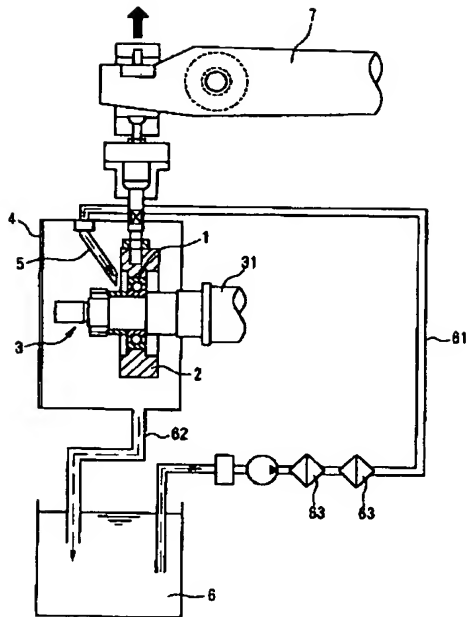
【符号の説明】

- 1 転がり軸受
- 2 ハウジング
- 3 軸
- 4 囲い部材
- 5 給油ノズル
- 6 油タンク
- 7 負荷レバー
- 31 軸の基端部
- 61 配管

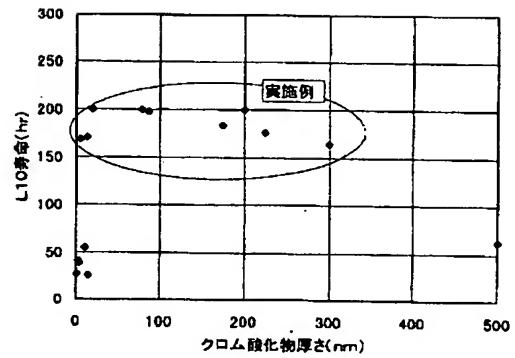
62 廃油管

* * 63 フィルター

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 沖田 滋
 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号
 日本精工株式会社内

(72)発明者 村上 保夫
 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号
 日本精工株式会社内
 Fターム(参考) 3J101 AA01 BA10 BA70 DA03 DA11
 EA03 FA31 GA11